



УДК 621.313.3

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОГО АНАЛИЗА ПРИ РАЗРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ПАРОВЫХ ТУРБИН НА ПРИМЕРЕ Т-295/335-23,5 АО «УРАЛЬСКИЙ ТУРБИННЫЙ ЗАВОД»

THE USE OF MODERN METHODS OF COMPUTER ANALYSIS IN THE DEVELOPMENT OF PARTS OF THE STEAM TURBINE FLOW PART ON THE EXAMPLE OF T-295/335-23.5 JSC «THE URAL TURBINE WORKS»

Вагин Максим Андреевич, аспирант каф. «Турбины и двигатели», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: vaginmaxim@gmail.com, Тел.: +7(922)125-06-56

Брезгин Виталий Иванович, д-р. техн. наук, с.н.с, профессор каф. «Турбины и двигатели», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: v.i.brezgin@urfu.ru. Тел.: (343)375-48-51

Maxim A. Vagin, Postgraduate student, Department «Turbines and engines», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street,19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: vaginmaxim@gmail.com.: +7(922)125-06-56

Vitaly I. Brezgin, Doctor Sc., senior researcher, Prof., Department «Turbines and engines», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: v.i.brezgin@urfu.ru. Ph.: (343)375-48-51

Аннотация: Статья представляет анализ проведенных в ходе разработки турбины Т-295/335-23,5 расчетов методом конечных элементов. В частности, анализ газодинамических процессов в проточной части цилиндров, входных и выходных патрубков.

Abstract: The article presents an analysis of the t-295/335-23.5 finite element calculations carried out during the development of the turbine. In particular, the analysis of gas-dynamic processes in the flow part of the cylinders, inlet and exhaust pipes.

Ключевые слова: Конечно-элементный анализ; турбина; промышленность.

Key words: Finite element analysis; turbine; industry.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время более 60% паротурбинного оборудования, работающего на территории Российской Федерации, выработало свой парковый ресурс, что отрицательно сказывается как на экономичности, так и на надежности. Ежегодно наблюдается тенденция к росту числа отказов и продолжительности внеплановых простоев. В соответствии с принятой Министерством Энергетики стратегией, реновация и модернизация основного оборудования объектов генерации в ближайшее время будет важным приоритетом развития отрасли. Одним из примеров таких работ является глубокая модернизация с полной заменой оборудования энергоблока №4 ТЭЦ-22 Мосэнерго, в объеме которой АО "УТЗ" разработана и изготовлена новая паровая турбина

Т-295/335-23,5 (см. Рис. 1) и вспомогательное оборудование к ней.

Новая турбина, спроектированная на сверхкритические параметры свежего пара и работающая с промежуточным перегревом пара, обеспечивает большую тепловую нагрузку. На настоящий момент паровая турбина Т-295/335-23,5 является самой мощной в мире по величине теплофикационного отбора. Данная турбина состоит из двухкорпусного цилиндра высокого давления (ЦВД), цилиндра среднего давления-1 (ЦСД-1), работающего на паре промежуточного перегрева, двухпоточного цилиндра среднего давления-2 (ЦСД-2), из которого осуществляется отбор пара на сетевые подогреватели и двухпоточного цилиндра низкого давления (ЦНД).

Новая турбина Т-295/335-23,5 спроектирована с высокой степенью унификации с базовой турбиной Т-250/335-240 по конструктивным элементам, определяющим ее массогабаритные

характеристики, что обеспечивает возможность установки новой турбины на старом фундаменте.

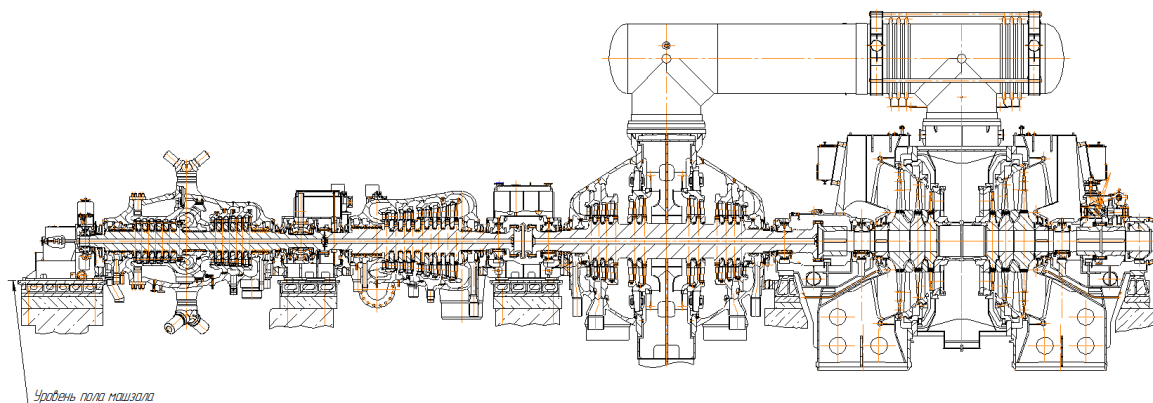


Рис. 1. Продольный разрез турбины Т-295/335-23,5.

РАЗРАБОТКА ТУРБИНЫ

Разработка турбины сопровождалась комплексными мероприятиями по газодинамическому совершенствованию элементов проточной части. Для расчетной отработки сложных конструкций и новых технических решений применялись программные средства, основанные на методе конечно-элементного анализа (МКЭ).

Для обеспечения высоких технико-экономических показателей турбины и достижения высоких значений относительного внутреннего КПД цилиндров выполнена оптимизация рабочих и направляющих лопаток путем проведения 3D-моделирования газодинамических процессов проточных частей каждого цилиндра турбины (Рис. 2).

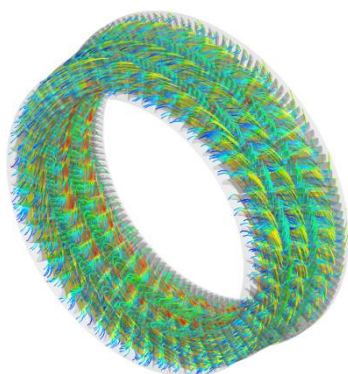


Рис. 2. Линии тока пара в проточной части ЦВД.

Увеличение мощности и эффективности турбоустановки было достигнуто не только за счет совершенствования лопаточного аппарата и

повышения начальных параметров пара, но также отработана газодинамика других элементов проточной части, таких как: блоки клапанов, сопловые коробки, входные и выхлопные патрубки цилиндров, межцилиндровое пространство ЦВД, а также перепускные трубы цилиндров.

Для достижения максимальной эффективности при номинальном режиме работы сегменты сопел и сопловые коробки выполнены с максимально достижимой для данной конструкции парциальностью – 87%. Такого результата удалось достичь за счет минимизации толщины стенок сопловых коробок при одновременном обеспечении их прочности путем применения многофакторной оптимизации с использованием МКЭ. Форма сопловых коробок также была усовершенствована путем создания каналов с плавным изменением сечения для достижения безотрывного течения и равномерного распределения пара между соплами (см. Рис. 3)

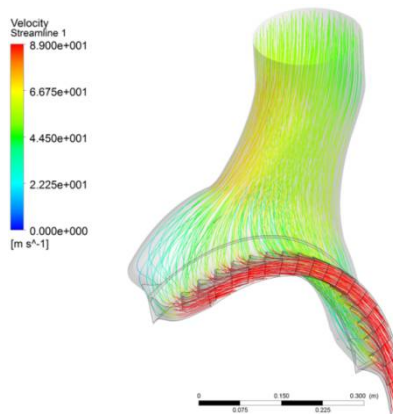


Рис. 3. Линии тока пара в сопловых коробках.

Газодинамический расчет межцилиндрового пространства (МЦП) ЦВД с использованием МКЭ позволил выявить ресурс для оптимизации, состоящий в устранении устойчивых вихревых течений в зоне входа пара в первую ступень правого потока. Для реализации данного решения был проработан вариант с установкой направляющего дефлектора (обтекателя) на наружную поверхность обоймы №1 ЦВД. В результате вариантных расчетов была получена форма дефлектора, обеспечивающая нормализацию течения в МЦП (см. Рис. 3).

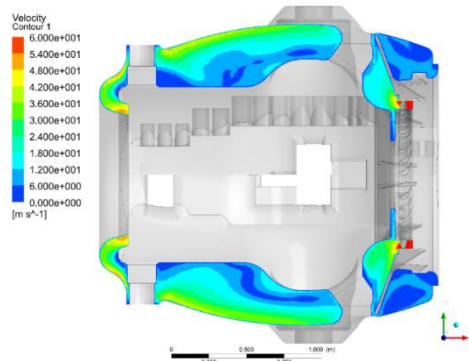


Рис. 3. Линии тока пара в сопловых коробках.

Ожидаемый прирост мощности турбины составил 20 кВт на номинальном режиме. Однако, образование застойной зоны в области за дефлектором привело к существенному усугублению термонапряженного состояния корпуса наружного цилиндра и снижению его маневренных характеристик. По результатам многофакторного анализа оптимальной с точки зрения надежности и безопасности эксплуатации турбины является исходная конструкция.

В ЦСД-1 газодинамическому анализу и совершенствованию подверглись паровпускная и выхлопная камеры.

Во впускной камере (см. Рис. 4) для выравнивания окружного распределения парового потока на входе в направляющий аппарат был выполнен протяженный конфузорный участок, увеличивающий путь пара от входа в камеру до выхода из нее. Объем камеры увеличен по сравнению с турбиной Т-250/300-240.

В выхлопной камере ЦСД-1 изменению по результатам комплексного газодинамического и прочностного анализа подверглись форма и положение пароотводящих патрубков. На основании проведенных расчетов было принято решение расположить оси патрубков вертикально, в отличие от ЦСД-1 турбины Т-250/300-240, где они симметрично смещены относительно оси

турбины на 30 градусов. Данное конструктивное решение позволило расположить верхнее сечение патрубка максимально близко к плоскости горизонтального разреза цилиндра, что способствовало снижению сопротивления камеры и улучшению окружной равномерности выхода потока из последней ступени ЦСД-1 при сохранении прочности и жесткости корпуса.

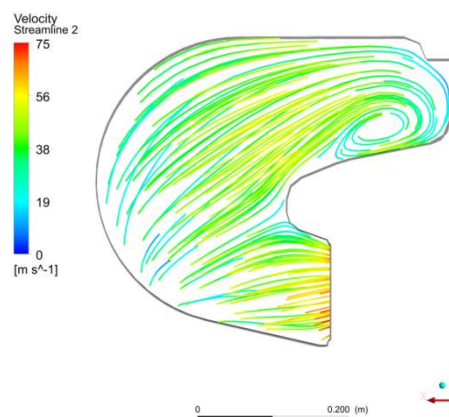


Рис. 4. Линии тока пара и поля скоростей в продольном сечении камеры паровпуска ЦСД-1.

ВЫВОДЫ

Использование современных методов компьютерного анализа при разработке турбины Т-295/335-23,5 взамен установленных турбин Т-250/300-240 позволило усовершенствовать проточную часть турбины и в совокупности с увеличением начальных параметров пара получить дополнительные 35 МВт при конденсационном и 45 МВт при теплофикационном режимах работы, а также увеличить тепловую нагрузку на 22 Г кал/ч. Проведенные работы позволили создать одну из самых мощных и экономичных теплофикационных турбин в мире, установка которой как при новом строительстве, так и при реконструкции существующих турбин серии Т-250 (с сохранением фундамента) позволяет увеличить выработку как тепловой, так и электрической энергии и повысить надежность энергосистемы в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Теплофикационная турбоустановка с новой паровой турбиной Т-295/335-23,5 / А.Е. Валамин, А.Ю. Култышев, Т.Л. Шибанов [и др.] // Теплоэнергетика. 2016. № 11. С. 3-13.
2. Паровые турбины и турбоустановки Уральского турбинного завода / Г.Д. Баринберг, Ю.М. Бродов, А.А. Гольдберг [и др.]; под ред. Проф., д.т.н. Ю.М. Бродова и к.т.н. А.Ю. Култышева; 3-е изд., перераб. и доп. Екатеринбург: ИПП "Уральский рабочий", 2017. 540 с.